

singulière et croissante avec le temps, qui ne semble assujettie à aucune loi, quand on se borne à envisager les ascensions droites et les déclinaisons. Mais, si l'on en déduit les longitudes et les latitudes, on reconnaît aussitôt que les dernières n'ont éprouvé aucun changement, et que les premières ont subi une modification commune, consistant dans une augmentation générale d'environ cinquante secondes par an, qui se continue indéfiniment avec uniformité. Cette importante découverte fut faite par Hipparque, d'après la différence de deux degrés qu'il aperçut entre ses longitudes d'étoiles et celles qui résultaient des observations d'Aristille et Timocharis un siècle et demi auparavant. La précision des observations modernes permet de vérifier ce fait général par des comparaisons beaucoup plus rapprochées, et même d'une année à l'autre. Ce phénomène équivaut évidemment à une rétrogradation des points équinoxiaux sur l'écliptique contre l'ordre des signes; d'où vient sa dénomination habituelle, à cause de l'avancement continu d'environ vingt minutes, qui en résulte nécessairement chaque année pour l'époque des équinoxes.

Cette précession des équinoxes ne pouvait être conçue, dans l'hypothèse de la terre immobile, qu'en faisant tourner l'univers tout d'une pièce

autour des pôles de l'écliptique en vingt-cinq mille neuf cent vingt ans, en même temps qu'il tournait chaque jour, en sens contraire, autour des pôles de l'équateur. Aussi Ptolémée avait-il imaginé, à cet effet, un ciel de plus. Au lieu de cette complication inintelligible, il suffit, au contraire, en admettant le mouvement de la terre, d'altérer le parallélisme de son axe de rotation d'une quantité presque insensible; car, le phénomène sera complètement représenté, si l'on fait tourner lentement cet axe, pendant cette longue période, autour de celui de l'écliptique, en formant avec lui un angle constant.

La différence des deux hypothèses à cet égard devient bien plus sensible encore en considérant le phénomène secondaire, désigné sous le nom de *nutaton*, dont les anciens n'ont pu avoir aucune connaissance, à cause de son extrême petitesse, quoiqu'il ne soit qu'une sorte de différenciation de la précession des équinoxes, et qu'il se manifeste essentiellement de la même manière, pourvu que les observations soient faites avec toute la précision moderne. Ce phénomène remarquable, dont la période est de dix-huit ans environ, avait été indiqué par Newton d'après la théorie de la gravitation; mais il a été réellement constaté, pour la première fois, par Bradley.

On le représente aisément, dans l'hypothèse copernicienne, en modifiant un peu le mouvement conique précédent de l'axe terrestre, qui correspond à la précession. Il faut alors concevoir que cet axe, au lieu d'occuper à chaque instant une des génératrices de ce cône, tourne autour d'elle en dix-huit ans, suivant un autre cône très petit, ayant pour base une ellipse, dont les deux demi-axes sont à peu près de neuf secondes et de six secondes. Ce phénomène obligerait évidemment, dans l'hypothèse de la terre en repos, à supposer à l'univers un troisième mouvement général, encore plus difficile à concilier que celui de la précession avec le mouvement fondamental.

La considération de ces phénomènes du point de vue mécanique rend beaucoup plus frappant le contraste des deux systèmes à ce sujet. Car, ces légères altérations du parallélisme de l'axe terrestre sont, d'après la théorie de la gravitation, une simple conséquence nécessaire et évidente, comme je l'indiquerai plus tard, de l'action du soleil, et surtout de la lune, sur le renflement équatorial de notre globe, suivant le beau travail de D'Alembert, qui explique complètement, non-seulement la nature, mais encore la quantité exacte de ces deux perturbations.

Voilà donc une première classe de phénomènes

qui, sans être absolument inconciliables avec l'ancien système du monde, s'accordent infiniment mieux avec le mouvement de la terre, même en se bornant à les envisager sous le rapport géométrique, comme nous devons le faire actuellement (1).

Cette évidente supériorité du système copernicien, est encore plus clairement prononcée à l'égard des nombreux phénomènes connus sous le nom de *rétrogradations et stations des planètes*, qui, dans l'hypothèse de la terre immo-

(1) Craignant d'interrompre la série naturelle des idées dans cette importante exposition, je n'ai pas cru devoir mentionner l'application chronologique qu'on a voulu faire quelquefois de la précession des équinoxes, d'après l'indication de Newton à ce sujet, afin de remonter à des époques très reculées, par les monumens de diverses sortes qui retraçaient alors l'état du ciel, à raison de soixante-douze ans pour chaque degré de différence dans la position des points équinoxiaux. Quoique sans doute très rationnelle en elle-même, cette application me semble réellement dépourvue de toute utilité essentielle, à cause de l'extrême imperfection nécessaire des observations antiques, et de la grossière infidélité de leur expression par les monumens considérés. Car, il résulterait probablement de cette double cause, convenablement appréciée, une incertitude chronologique très supérieure, dans la plupart des cas, à celle que laissent les procédés ordinaires de l'exploration historique. Cette méthode ne deviendrait donc applicable, avec quelque précision, qu'à partir de la naissance de la véritable astronomie chez les Grecs; et, pour des temps si peu lointains, les autres renseignemens suffisent déjà entièrement. Je ne pense pas qu'on puisse citer aucune véritable découverte chronologique qui soit effectivement due à ce procédé, depuis plus d'un siècle qu'on s'en est occupé.

bile, ne pouvaient être que vaguement expliqués à l'aide des suppositions les plus forcées et les plus arbitraires; tandis que toutes leurs diverses circonstances, même numériquement appréciées, résultent immédiatement, et de la manière la plus simple, du seul mouvement de notre planète.

On a justement comparé ces phénomènes aux apparences que présente journellement un bateau, descendant une large rivière, à un observateur qui la descend aussi de son côté, sans avoir conscience de son mouvement; et d'où il résulte que le mouvement de ce bateau semble direct, stationnaire, ou rétrograde, selon que sa vitesse est supérieure, égale, ou inférieure à celle de l'observateur. Nous concevons, en effet, que le mouvement de notre globe doit nous faire continuellement apercevoir chaque planète au point de son orbite où elle se trouverait en lui imprimant, en sens contraire, une vitesse égale à la nôtre. Cela posé, à partir du moment où la planète quelconque est le plus près de nous, afin que les deux mouvemens soient exactement dans le même sens, cette correction la fera évidemment paraître rétrograde pendant un temps plus ou moins long dépendant des vitesses et des distances relatives, jusqu'à ce que sa direction se trouve suffisamment changée, par la continuité de sa

propre circulation, pour que son mouvement apparent redevienne direct, comme il l'est le plus souvent. Il est d'ailleurs évident que, suivant la règle ordinaire de tous les phénomènes qui changent de signe, il y aura, vers la fin et vers le renouvellement de la rétrogradation, un instant où la planète paraîtra sensiblement stationnaire dans le ciel. Toutes les parties du phénomène, l'époque et la durée de la rétrogradation, l'étendue de l'arc qu'elle embrasse et la position de ses points extrêmes, peuvent être exactement calculées d'après la distance de la planète au soleil et la durée de sa révolution, comparées au mouvement de la terre. On peut, dans ce cas, simplifier beaucoup le calcul, sans aucun inconvénient réel, en supposant tous les mouvemens circulaires et uniformes, et même dans le plan de l'écliptique. Les résultats doivent évidemment présenter de grandes différences, suivant les diverses planètes. Leur comparaison générale montre que la durée absolue de la rétrogradation augmente à mesure qu'on s'éloigne du soleil; mais que, relativement au temps périodique de la planète, elle diminue, au contraire, très rapidement et de plus en plus. Or, l'observation directe de ces phénomènes vérifie, d'une manière remarquable, toutes ces conséquences

de la théorie du mouvement de la terre, même quant à leur valeur numérique.

Ces apparences si simples n'avaient pu être expliquées, dans l'ancien système, qu'en faisant mouvoir chaque planète sur la circonférence d'un cercle idéal, dont le centre parcourait l'orbite effective. On conçoit que, ces deux mouvemens se trouvant être tantôt conformes et tantôt contraires, il était possible, en disposant convenablement du rayon arbitraire de cet épicycle et du temps fictif de la révolution correspondante, de représenter, jusqu'à un certain point, la rétrogradation et la station de chaque planète. Cette conception, qu'il faut juger comme subordonnée à l'ancien système, était sans doute fort ingénieuse. Mais, malgré toutes les ressources arbitraires qu'on s'y était ménagé, elle ne satisfaisait que d'une manière très vague aux phénomènes mêmes qui l'avaient provoquée, et elle était manifestement contraire à la véritable nature des orbites planétaires, comme nous le verrons dans la leçon suivante. Ainsi, indépendamment de son absurdité physique, elle ne pouvait évidemment soutenir à cet égard la moindre concurrence avec la théorie de Copernic, qui a rendu ces phénomènes tellement simples et vulgaires, que les astronomes ne s'en occupent plus aujourd'hui.

d'hui. On n'avait pas même tenté d'y expliquer la circonstance la plus frappante que présentent les rétrogradations planétaires, leur coïncidence invariable avec l'époque de l'opposition, s'il s'agit d'une planète supérieure, ou de la conjonction inférieure, à l'égard des deux autres planètes, ce qui, au contraire, résulte, au premier coup d'œil, de l'explication moderne.

Le mouvement annuel de la terre pourrait donc être regardé comme suffisamment constaté par cette seconde classe de phénomènes, qui faisait en effet la principale force de l'argumentation des coperniciens avant Képler et Galilée. Néanmoins, comme elle peut à la rigueur se concilier, jusqu'à un certain point, avec l'ancien système du monde, quelque étrange et imparfaite qu'y soit son explication, l'astronomie moderne, dans l'admirable sévérité de sa méthode, ne proclame aujourd'hui, comme une vraie démonstration mathématique du mouvement de la terre, que celle qui résulte de l'analyse exacte des phénomènes si variés de l'aberration de la lumière, absolument incompatibles avec l'immobilité de notre globe, et si parfaitement déduits au contraire par le grand Bradley de la théorie copernicienne; quoique, d'ailleurs, cette théorie se trouvât déjà généralement admise par les astro-

nomes, quand ces phénomènes furent découverts. Telle est la troisième considération fondamentale, qui me reste à indiquer ici, au sujet du mouvement de la terre.

Il est préalablement indispensable d'examiner comment l'astronomie parvient à mesurer la vitesse avec laquelle la lumière se propage.

Les distances terrestres sont beaucoup trop petites pour que le procédé qui permet d'estimer, par des observations directes, la durée de la propagation du son, puisse être jamais applicable à la lumière, dont le mouvement est tellement rapide qu'on ne saurait constater, quelques précautions qu'on ait prises, la moindre différence perceptible entre l'instant où la lumière est émise en un certain lieu et le moment où elle est vue d'un autre lieu aussi éloigné que possible, quoique les deux phénomènes ne soient pas sans doute exactement simultanés. Mais la grandeur des espaces intérieurs de notre système solaire comporte, au contraire, une évaluation très précise de cette vitesse. Toutefois, il semble au premier abord, que, quel que soit le temps employé par la lumière à nous venir des astres, il n'en doit résulter qu'un simple retard dans l'époque que nous assignons à chacune de leurs positions, ce qui n'exercerait aucune influence sur nos observations com-

paratives. C'est pourquoi ce temps ne peut être aperçu et mesuré qu'en considérant des phénomènes uniformes qui s'exécutent successivement à des distances de la terre extrêmement inégales, et qui, dès lors, présenteront pour cette seule cause des différences appréciables suivant les diverses situations. Tel est, en effet, le procédé imaginé par Roëmer, auteur de cette immortelle découverte, que lui fournit l'observation comparative des éclipses des satellites de Jupiter dans les situations opposées de cette planète à l'égard de la terre.

Le premier satellite, par exemple, est éclipsé par Jupiter toutes les quarante-deux heures et demie. Supposons que les tables en aient été dressées pour la moyenne distance de Jupiter à la terre, qui a lieu lorsque Jupiter nous semble à quatre-vingt-dix degrés environ du soleil. En comparant à cette situation moyenne l'époque de l'opposition et celle de la conjonction, il est clair que l'apparition de l'éclipse aura lieu plus tôt dans le premier cas, et plus tard dans le second, à cause du chemin moindre ou plus grand que la lumière devra parcourir. La confrontation des deux cas extrêmes détermine le temps très sensible employé par la lumière à décrire le diamètre de l'orbite terrestre, et il en est résulté qu'elle nous

vient du soleil en huit minutes environ. L'observation des autres satellites, et, plus tard, celle des satellites de Saturne et même d'Uranus, ont fourni à cet égard de nombreux moyens de vérification, qui, d'ailleurs, ont constaté l'exacte uniformité du mouvement de la lumière, du moins entre les limites de notre monde.

D'après cette importante détermination préliminaire, il devient aisé de concevoir comment le mouvement de la terre produit les phénomènes de l'aberration de la lumière dans les étoiles et dans les planètes.

Quoique la lumière emploie certainement plusieurs années à nous parvenir, même des étoiles les plus voisines, il n'en peut évidemment résulter, si la terre est immobile, qu'une simple erreur d'époque, et jamais aucune erreur de lieu. Au contraire, notre mouvement doit nécessairement altérer un peu la direction suivant laquelle nous apercevons l'astre, et qui s'obtient alors en composant, d'après la règle ordinaire du parallélogramme des mouvemens, la vitesse de la lumière avec celle de la terre. Comme la première est environ dix mille fois supérieure à la seconde, cette déviation ne peut être, à son *maximum* (qui a lieu lorsque les deux mouvemens sont rectangulaires), que de vingt secondes, tantôt

en un sens, tantôt dans l'autre; d'où résulte au plus une variation de quarante secondes dans les positions des étoiles pendant tout le cours de l'année. Il fallait donc toute la précision des observations modernes pour parvenir à la constater avec une entière certitude, quoique plusieurs astronomes aient semblé l'entrevoir un peu avant Bradley, sans pouvoir d'ailleurs se l'expliquer en aucune manière.

La loi fondamentale de cette déviation ne laisse évidemment rien d'arbitraire. L'aberration a toujours lieu dans le plan qui passe à chaque instant par la direction variable et exactement connue du mouvement de la terre, et par le rayon visuel mené à l'étoile, qui peut être regardé, d'après la leçon précédente, comme sensiblement parallèle, en tous temps, à la droite que déterminent la longitude et la latitude de cet astre. L'angle formé par ces deux droites règle tous les changemens que ce phénomène doit présenter. Tout est donc mathématique ici, et peut être confronté, sans la moindre équivoque, à l'observation directe, après avoir, pour plus de facilité, déduit de l'aberration primitive les variations qu'elle entraîne dans l'ascension droite et la déclinaison, préalablement corrigées de la précession.

En considérant la marche générale du phé-

nomène, on peut envisager l'ensemble des rayons visuels menés à l'étoile dans toutes les positions de la terre, comme formant un cylindre plus ou moins oblique, dont la base est le cercle de l'écliptique. Le plus grand angle que la génératrice de ce cylindre puisse former avec la tangente de la base, et qui détermine la plus grande aberration, a lieu dans les deux points diamétralement opposés où son plan est perpendiculaire à l'écliptique : l'angle est au contraire le plus éloigné possible d'être droit, d'où résulte le *minimum* d'aberration, dans les deux points de l'écliptique situés à quatre-vingt-dix degrés des précédens. Le développement total du phénomène, pendant le cours de l'année, doit donc présenter quatre phases principales, deux *maxima* et deux *minima*, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, suivant les directions opposées de la terre aux deux moitiés de sa route. Cette marche caractéristique de l'aberration, et surtout la périodicité si frappante de l'ensemble des phénomènes après chaque année révolue, ont été pour Bradley les premiers symptômes qui l'aient naturellement conduit à en chercher la vraie théorie dans la combinaison du mouvement de la terre avec le mouvement de la lumière.

L'aberration doit, évidemment, présenter des

différences très considérables suivant les diverses étoiles. Ce qui vient d'être indiqué sur sa marche générale, correspond essentiellement au cas le plus ordinaire d'une étoile plus ou moins écartée de l'écliptique. Mais, si l'on envisage les deux cas extrêmes, il est d'abord évident que, pour une étoile située au pôle de l'écliptique, le cylindre précédent deviendra droit, et, par conséquent, l'aberration fondamentale aura toujours la même valeur, égale à son *maximum* de vingt secondes, et sera seulement tantôt d'un côté, tantôt de l'autre. Quant au contraire, à une étoile située exactement dans le plan de l'écliptique, les variations seront plus prononcées qu'en aucun autre cas; puisque, notre cylindre se réduisant alors à un plan, l'aberration pourra être nulle à deux époques opposées de l'année, tandis que, à trois mois de chacune d'elles, elle atteindra toute sa valeur. Voilà donc une nouvelle source de vérifications très sensibles pour la théorie générale de l'aberration.

Enfin, l'observation des planètes doit nécessairement être affectée aussi d'une erreur de lieu semblable à l'aberration des étoiles. Seulement, la loi fondamentale en est plus compliquée; car, au lieu du simple parallélogramme des mouvements, il faut considérer alors le parallélépipède